



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 20 785 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 J 9/00**  
G 01 N 21/39

⑦1 Aktenzeichen: 198 20 785.9  
⑦2 Anmeldetag: 17. 4. 98  
④3 Offenlegungstag: 21. 10. 99

DE 198 20 785 A 1

⑦1 Anmelder:  
Schwider, Johannes, Prof. Dr., 91056 Erlangen, DE

⑦2 Erfinder:  
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Absolutprüfung von asphärischen Flächen unter Zuhilfenahme von diffraktiven Normalelementen und planen sowie sphärischen Referenzflächen

⑤7 Es wird ein Absolutverfahren zur Prüfung von asphärischen Rotationsflächen vorgeschlagen, welches mit einem speziell kodierten diffraktiven optischen Strahlformungselement arbeitet und bei dem neben der eigentlichen asphärischen Welle eine sphärische Hilfswelle simultan kodiert und strukturiert wird, deren mittlere Krümmung und Krümmungssinn möglichst eng an die asphärische Welle des DOE angelehnt ist. Diese gleichzeitig kodierte sphärische Welle wird demgemäß auch die Strukturierungsfehler der Lithographie im wesentlichen in identischer Größe tragen wie die eigentliche asphärische Referenzwellenfront. Dadurch ergibt sich gleichzeitig die Möglichkeit der Eichung des DOE, wodurch die Restfehler der Hilfsoptik, des DOE und des Interferometers geeicht werden können.

Absolutaussagen über die Abweichungen der Asphäre von ihrer Idealform werden aus mehreren Relativmessungen unter Einbeziehung einer cats eye Position für die sphärische Hilfswelle oder durch Heranziehen eines sphärischen Absolutnormals gewonnen, welches mit verwandten Methoden geprüft wird.

Darüber hinaus kann man aber auch das gesamte Verfahren mit Hilfe eines Wellenfrontensors ohne Referenzstrahlengang durchführen. Als Wellenfrontsensor sind sowohl der Shack-Hartmann Sensor aber auch Shearingverfahren geeignet.

DE 198 20 785 A 1

## Beschreibung

## Zweck der Erfindung

Durch den Übergang zu immer kürzeren Wellenlängen und größeren Feldern in der Mikrolithographie wird es erforderlich in stärkerem Maße auch stark asphärisch deformierte Flächen in das Design aufzunehmen. Da die Herstellung nicht mehr in Flächenberührung erfolgen kann, muß sich die Fertigung in weit höherem Maße auf die Meßtechnik verlassen. Wegen der extremen Genauigkeitsanforderungen sind aber insbesondere Verfahren zur Absolutmessung erforderlich.

## Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist die Angabe eines Quasi-Absolutverfahrens basierend auf der Nutzung von diffraktiven Strahlformungselementen im Objektstrahlengang eines Zweistrahlinterferometers oder im Teststrahlengang eines Shack-Hartmann Sensors und hochgenauen Phasenmessungen bzw. einer geeigneten Kombination solcher Messungen zum Erhalt von Abweichungen von der mathematischen Idealform.

## Stand der Technik

Bekannt sind Verfahren zur Prüfung von asphärischen Flächen unter Verwendung von Kompensationsoptiken, die die Aufgabe haben, eine asphärisch deformierte Welle aus einer ebenen oder sphärischen Welle derart zu erzeugen, daß von der so geformten Welle die asphärische Fläche überall senkrecht getroffen wird und danach die reflektierte Welle wiederum in eine nahezu ebene oder sphärische Welle zurückverwandelt wird. Die Kompensationsoptik kann entweder ein refraktives Linsensystem bzw. Einzelglied - eine sogenannte "null lens"- oder ein diffraktives Element sein, welches im Computer berechnet und durch lithographische Aufzeichnung erzeugt wird. In beiden Fällen erreicht man zweierlei: 1) wird die Prüflingsfläche in allen Punkten nahezu senkrecht beleuchtet und damit mit gleicher Empfindlichkeit getestet und 2.) wirken sich wegen des cos-Charakters der Justageaberrationen bei kleinen Dejustagen die Justagefehler ungefähr gleich für alle Punkte der Oberfläche aus. In einem begrenzten Umfang hat die Kompensationsoptik neben der korrekten Beleuchtung auch noch die Funktion eines Absolutnormalen. Man sieht aber unmittelbar ein, daß ein komplexes optisches Null-System für sich nicht mehr prüfbar ist, da die erzeugte Wellenfront eine phasenkonjugierte Welle zur Prüflingsoberfläche darstellt. Auch der Einsatz von diffraktiven Elementen bringt hier keine absolute Lösung im Sinne der absoluten Flächenprüfung von Sphären, da man sich auf die Absolutgenauigkeit der Lithographie verlassen muß. Für höchste Genauigkeiten ist das aber auch keine schlüssige Lösung, da die Lithographie auch nicht frei von Fehlern ist. Außerdem sind die Interferometerkomponenten auch nicht frei von Flächenabweichungen und Homogenitätsschwankungen, weshalb auch diese Beiträge mit herausgeeicht werden müssen. Zur Klarstellung sei das Verfahren zur Absolutprüfung von Sphären zunächst näher erläutert. Zur Absolutprüfung von sphärischen Flächen und von ganzen Objektiven ist das Verfahren von Jensen und Schwider /1, 2/ bekannt. Dabei wird mit mehreren Prüflingspositionen in einem Interferometerarm gearbeitet oder in abgewandelter Form mit einem Shack-Hartmann Wellenfrontsensor die Wellenaberration über die Winkelastrationen bestimmt.

Die Prüfanordnung zur Absolutprüfung von sphärischen

Flächen bzw. von ganzen Objektiven hat dann das prinzipielle Aussehen wie in Fig. 1a dargestellt. Das Licht z. B. von einem Laser trifft auf einen Strahlteiler und wird zur Beleuchtung des Prüflings auf ein Aufweitungssystem mit anschließendem Strahlformungssystem umgelenkt. Das Strahlformungssystem erzeugt eine angepaßte Kugelwelle, die überall senkrecht auf die Prüflingsoberfläche trifft und dort reflektiert wird und das Gesamtsystem in umgekehrter Richtung passiert und auf dem Rückweg am Teilerwürfel mit einer planen Referenzwelle des Referenzarms zu einem Interferogramm auf einem Detektor überlagert wird. Wahlweise kann aber auch mit einem Shack-Hartmann Sensor gearbeitet werden wie in Patent /3/ und Publikation /4/ nachgelesen werden kann. Die Dimensionierung des Gesamtsystems ist derart ausgeführt, daß die Prüflingsfläche auf das Detektorfeld scharf abgebildet wird. Der Prüfling ist um seine Achse drehbar und längs der optischen Achse verschiebbar angordnet, damit die nötigen Prüfpositionen eingenommen werden können.

Eine Absolutprüfung besteht nun in einer Abfolge von mehreren Wellenfrontmessungen in verschiedenen Positionen des sphärischen Prüflings (s. Fig. 1b). Wenn man die Wellenaberrationen des Referenzarms mit  $W_r(x,y)$  und des optischen Systems im Objektarm mit  $W_s(x,y)$  bezeichnet und die des Prüflings mit  $P(x,y)$ , sowie die gemessenen Wellenaberrationen  $W_i(x,y)$  mit  $i=1, 2, 3$  dann erhält man schließlich:

- Grundposition:  $W_1(x,y) = W_r(x,y) + W_s(x,y) + P(x,y)$
- 180-Grad Position:  $W_2(x,y) = W_r(x,y) + W_s(x,y) + P(-x,-y)$
- cat's-eye Position  $W_3(x,y) = W_r(x,y) + 1/2 [W_s(x,y) + W_s(-x,-y)]$ .

Daraus folgen die Abweichungen des Prüflings:

$$2 P(x,y) = W_1(x,y) + W_2(-x,-y) - [W_3(x,y) + W_3(-x,-y)].$$

Das absolute Wissen über die Abweichungen einer Sphäre ermöglicht das Messen eines optischen Systems, indem man die absolut vermessene Sphäre dazu verwendet, um das Interferometer zusammen mit seiner Hilfsoptik zu kalibrieren und danach das Prüflingsobjektiv einbringt und die Gesamtanordnung wiederum mit der bekannten Sphäre eicht.

Auch die Hinzunahme von absolut vermessenen Planflächen kann dazu genutzt werden, um ein Objektiv zu vermessen. Letzteres ist besonders dann nötig, wenn das Objektiv auf unendliche Bildweite designed ist.

## Erfindungsgemäße Lösung

Erfindungsgemäß wird folgendermaßen vorgegangen: Zur Prüfung von Asphären im Auflicht wird z. B. ein Twyman-Green Interferometer (s. Fig. 2) verwendet, bei welchem im Objektarm möglichst direkt vor der zu prüfenden Asphäre ein diffraktives optisches Element (DOE) angeordnet wird, welches einerseits als Strahlformer derart wirkt, daß eine der gebeugten Wellen im Fall perfekter Justage überall senkrecht auf die asphärische Prüflingsoberfläche auftrifft und welches die reflektierte Welle auf dem Rückweg wieder in z. B. eine ebene (oder sphärische) Welle mit kleinen Abweichungen umformt, wobei die letzteren der Asphäre bzw. zum Teil auch dem Justierzustand zuzuordnen sind. Diese Welle läßt sich danach durch Überlagern einer Referenzwelle bezüglich ihrer Phasenverteilung mit den bekannten interferometrischen Methoden vermessen. Wenn

das diffraktive Element nun völlig fehlerfrei hergestellt werden könnte, hätte man damit das Problem der Absolutprüfung von Asphären eindeutig gelöst. Bedauerlicherweise gibt es aber weder ideale ebene oder sphärische Grenzflächen und natürlich auch keine idealen diffraktiven Referenzelemente. Es muß also dafür gesorgt werden, daß die noch vorhandenen Restabweichungen des diffraktiven Elements durch Eichung ausgeschaltet werden. Dabei ist sicherlich hilfreich, daß die zu erwartenden Abweichungen klein sind, also höchstens von der Größenordnung einer Wellenlänge, da bekanntlich die lithographischen Methoden an sich schon sehr genau funktionieren müssen und das auch bei großen Durchmessern der Siliziumwafer (heute schon im Bereich von 30 cm Durchmesser). Gerade für diese großen Durchmesser müssen auch Asphären mit starker Asphärizität (Abweichung von einer Referenzkugel in der Ordnung von einigen hundert  $\mu\text{m}$ ) und Durchmessern von einigen hundert mm im Design zugelassen, hergestellt und mit höchster Genauigkeit vermessen werden.

Die strukturbedingten globalen Restaberrationen eines diffraktiven Elements hängen sehr stark von der maximal vorkommenden Ortsfrequenz der DOE-Struktur ab. Ein minimaler Positionierfehler einer beugenden Struktur von  $\Delta p$  bei einer kleinsten Periode im DOE von  $p$  führt zu einer Wellenaberration von

$$\Delta W = \lambda \Delta p / p.$$

Wenn man nun nur mit einem diffraktiven Einzelement arbeitet, dann muß dieses Element die gesamte Strahlablenkung, also auch den sphärischen Anteil, durch entsprechend kleine beugende Strukturen bewerkstelligen, weshalb dadurch die erreichbare Genauigkeit erheblich leiden muß. Bekanntlich ist aber gemessen an der sphärischen Grunddeformation die asphärische Deformation relativ bescheiden. Das ist auch der Grund, weshalb man den sphärischen Anteil gern durch sphärische Hilfsoptik erzeugt. Trotzdem ist dann auch in diesem Fall keine Absolutgenauigkeit erreichbar, da viele unterschiedliche Komponenten zum Gesamtfehler beitragen.

Geht man nun den alternativen Weg nur einer diffraktiven Komponente, so muß man dafür sorgen, daß 1) die lithographische Genauigkeit möglichst hoch ist, 2) der sphärische Anteil der Wellenfrontkrümmung möglichst mit geeicht werden kann und 3) der asphärische Anteil an der DOE-Struktur möglichst niederfrequent bleibt, damit man bei der vorhandenen lithographischen Genauigkeit die verbleibende asphärische Wellenfrontdeformation möglichst fehlerfrei erhält.

Hier wird deshalb vorgeschlagen, daß das DOE eine Doppelstruktur erhält gemäß der Formel für die Überlagerung von zwei Wellen für die asphärische on-line Struktur und eine sphärische offset-Struktur, die die Krümmung des sphärischen Anteils der asphärischen online Struktur mit hinreichender Näherung modelliert:

$$I(x,y) = 1 + \alpha + \alpha \cos \phi_s + \cos \phi_a$$

wobei  $\alpha < 1$  ein Modulationsfaktor für die sphärische Welle,  $\phi_a$  die Phasenverteilung der asphärischen Welle in der DOE-Ebene (um es nochmals klar herauszustellen: es besteht die Phase  $\phi_a$  aus einem starken sphärischen Anteil  $\Phi_s$  und einem schwachen Phasenteil  $\Phi_a$ ) und  $\phi_s$  die Phasenverteilung der sphärischen Hilfswelle plus einem kleinen lateralen Frequenzoffset zur sauberen Trennung der asphärischen Wellen von der sphärischen Hilfswelle.

Wegen der relativen Kleinheit des asphärischen Anteils  $\Phi_a$  an der Gesamtwellenfrontdeformation  $\phi_a$  kann man da-

von ausgehen, daß bei gleichzeitiger Herstellung der diffraktiven Strukturen die sphärische Welle ungefähr einen Fehler gleicher Größenordnung wie die eigentliche asphärische Welle mit ihrem starken sphärischen Anteil  $\Phi_s$  aufweist. Bei vorliegender Rotationssymmetrie sind die Krümmungsmittelpunkte für die einzelnen Zonen längs der optischen Achse angeordnet. Es gibt folglich einen kürzesten Krümmungsradius, an dem sich die sphärische Hilfsstruktur orientieren kann, bzw. man kann auch den sphärischen Anteil so wählen, daß der rein asphärische Anteil überall im Feld hinreichend klein bleibt. Die cos-förmige additive Moiréstruktur läßt sich in einem diffraktiven Element nicht so einfach realisieren, wohl aber eine binarisierte Variante, wobei man alle Werte  $I > 1 + \alpha$  durch eine Phase  $\pi$  und alle Werte  $I \leq 1 + \alpha$  durch die Phase 0 repräsentieren kann. Das sollte für eine gute Unterdrückung der nullten Beugungsordnung sorgen und bei spatialer Filterung im Interferometer die dadurch zwangsläufig erzeugten höheren Beugungsordnungen hinreichend beseitigen. Das Gleiche sollte auch für alle Differenzfrequenzen gelten, die durch den nichtlinearen Kodierungsvorgang entstehen. Da beide Wellen – die asphärische "Nutzwelle" und die sphärische Hilfswelle – im gleichen Schritt strukturiert werden, werden sich auch die Strukturierungsfehler beiden Wellen in gleicher Weise mitteilen.

Das eröffnet nun die folgenden Eichmöglichkeiten anhand der sphärischen Hilfswelle, für die es einen Brennpunkt etwas seitlich der optischen Achse gibt. Bringt man in den Brennpunkt einen Planspiegel, dann hat man wie bei der eingangs geschilderten absoluten Sphärenprüfung eine cat's eye Position für das DOE und die gesamte Hilfsoptik des Objektstrahlengangs realisiert. Damit ist es möglich den geraden Anteil der Referenzoptik bestehend aus DOE und Kollimator nebst Teilerfläche zu messen.

#### Alternative 1

Das Verfahren arbeitet ähnlich wie die absolute Sphärenprüfung mit 3 Positionen, die wir hier anhand von Fig. 2 verdeutlichen wollen:

Position 1: Grundposition

$$W_1(x,y) = W_r(x,y) + W_s(x,y) + A(x,y)$$

Position 2: 180-Grad Position

$$W_2(x,y) = W_r(x,y) + W_s(x,y) + A(-x,-y)$$

Position 3: cat's eye Position

$$W_3(x,y) = W_r(x,y) + 1/2[W_s'(x,y) + W_s'(-x,-y)].$$

Unter der Voraussetzung, daß  $W_s(x,y) = W_s'(x,y)$  ist, kann man die asphärischen Abweichungen  $A(x,y)$  vom synthetischen Master DOE absolut angeben:

$$2 A(x,y) = W_1(x,y) + W_2(-x,-y) - [W_3(x,y) + W_3(-x,-y)].$$

Die einzige Unsicherheit, die dieser Vorgehensweise anhaftet, besteht in einer gewissen Unsicherheit, ob die Bedingung  $W_s(x,y) = W_s'(x,y)$  bei Benutzung der sphärischen Hilfswelle, die simultan in das DOE eingeschrieben ist, erfüllt ist. Sicher erfüllt ist dies für die sonstige Hilfsoptik und den DOE-Träger, die ja auch mit einem Fehleranteil vertreten sind. Bleibt die Strukturierungsfrage zu klären. In der beschriebenen Vorgehensweise ist die Hilfswelle der asphärischen Strahlformungswelle möglichst ähnlich zu wählen, d. h. gleicher Krümmungssinn und nahezu gleiche Krümmung.

Bei gleichem Krümmungssinn, d. h. auch gleichen Vorzeichen der aufgezeichneten Phasen der sphärischen resp. asphärischen Welle sollte der Restfehler  $\Delta \phi$  in der Phasen-

messung nach der vorgenommenen Eichtung von der Größenordnung:

$$\Delta\varphi = (\nabla\varphi_a - \nabla\varphi_s)\Delta\vec{r} \ll \pi,$$

wobei  $\Delta\vec{r}$  den lokalen Fehlervektor der Strukturierungsmethode darstellt. Die Gradientendifferenz der asphärischen Welle und der sphärischen Welle ist dann lokal auf jeden Fall entsprechend klein auslegbar.

Der entscheidende Unterschied ist der eigentliche asphärische Anteil der asphärischen Welle, der für sich recht klein ausfällt, da man sich diese Abweichung als Moiré der beiden Substrukturen vorzustellen hat. Man kann abschätzen, daß für die in Frage kommenden asphärischen Abweichungen kleinste Perioden am Rande von einigen Hundert Wellenlängen auftreten. Denkt man sich 1 µm Wellenlänge und geht man von lithographischen globalen Genauigkeiten von 0.1 µm aus, dann sollten sich die asphärischen Anteile mit der nötigen Genauigkeit im DOE verankern lassen. Den hochfrequenten Fehler-Anteil eicht man dann mit der sphärischen Hilfswelle raus. Es werden folglich die örtlich langsam veränderlichen asphärischen Anteile als hinreichend genau strukturiert angenommen.

#### Alternative 2

Man kann natürlich das Interferometer inklusive das DOE für den Asphärentest mittels einer absolut geprüften Sphäre eichen (s. Fig. 3). Die Sphäre wird dann in den off-axis Strahlengang eingebracht und die Abweichungen  $W_1(x,y)$  des Interferometers plus absolute Sphärenfehler im Computer gespeichert. Danach wird die Sphäre herausgenommen und die Asphäre on-axis zum DOE positioniert und die Abweichungen  $W_2(x,y)$  der Einstellung mit der Asphäre gemessen und die gespeicherten Daten der Sphärenmessung abgezogen und man erhält:

$$A(x,y) = W_2(x,y) - W_1(x,y) + S(x,y)$$

wobei  $S(x,y)$  die absoluten und bekannten Abweichungen des Sphärennormals sind.

Diese Alternative kommt insbesondere dann in Betracht, wenn man keinen direkten Zugriff auf den sphärischen Fokus hat, wie z. B. im Fall der Prüfung einer konkaven Fläche.

#### Literatur

- /1/ Jensen, A. E.; J. Opt. Soc. Am. 63 (1973) 1313A; abstract only.
- /2/ G. Schulz, J. Schwider: "Interferometric testing of smooth surfaces", Prog. in Optics XIII, E. Wolf, Ed., Elsevier Publisher New York, (1976).
- /3/ Schwider, J.; "Absolutprüfung von sphärischen Flächen und Objektiven mit teilkohärenter Laserstrahlung unter Verwendung eines Wellenfrontensensors"; DPat. angem. 28.05.97, Nr. 1 97 22 342.7
- /4/ J. Pfund, N. Lindlein, J. Schwider, R. Burow, Th. Blümel, K.-E. Elßner; "Absolute sphericity measurement: a comparative study on the use of interferometry and a Shack-Hartmann sensor" Opt. Lett. 1998 accepted.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Absolutprüfung von asphärischen Flächen mit Hilfe von computererzeugten diffraktiven Elementen unter Einbeziehung von mehreren Messungen der Wellenfrontdeformationen von gespeicherten

sphärischen und asphärischen Wellenfronten mit Hilfe von Interferometrie oder Shack-Hartmann Sensor dadurch gekennzeichnet, daß eine sphärische Hilfswelle in das diffraktive optische Element einstrukturiert wird, die durch gleiche mittlere Wellenfrontkrümmung bei gleichem Krümmungssinn wie die asphärische Welle kodiert ist und die durch eine geringe laterale Fokusverschiebung bei angemessener Filterung leicht getrennt werden kann von der eigentlichen asphärischen Meßwelle, die so ausgelegt ist, daß sie die asphärische Prüflingsoberfläche überall nahezu senkrecht trifft und von dort reflektiert wird und auf dem Rückweg abermals durch Beugung am diffraktiven Element wahlweise in eine ebene oder sphärische Welle deformiert wird, die danach mit einer Referenzwelle zur Interferenz gebracht wird, wobei aber die sphärische Hilfswelle ihrerseits zum Eichen der Interferenzanordnung herangezogen wird, indem mehrere Interferometereinstellungen nacheinander realisiert werden, die die sogenannte cat's eye Position und verschiedene Rotationspositionen der asphärischen Prüflingsoberfläche oder wahlweise auch einer absolut geprüften sphärischen Hilfsfläche mit einschließen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die asphärische Prüflingsfläche in einem Twyman-Green Interferometer dem diffraktiven Element nachgeordnet wird und in zwei Positionen, nämlich in einer Grundposition und einer um 180 Grad um die Symmetrieachse gedrehten Position vermessen wird und die gemessenen Daten der Wellenfrontdeformationen in einem angeschlossenen Rechner gespeichert werden und daß in einer dritten Messung nunmehr die im gleichen diffraktiven Element gespeicherte sphärische Hilfswelle zu einer cat's eye Messung durch Einbringen eines gut polierten Planspiegels in die leicht off-axis liegende Fokalebene derart ausgeführt wird, daß die reflektierte Welle jeweils lateral an der Symmetrieachse der asphärischen Maske gespiegelte Punkte in der Ebene des diffraktiven Elements trifft und die durch dieses Element erzeugte und durch Filterung von anderen Wellen getrennte Planwelle zur Messung der geraden Wellenfrontdeformationen des Testarms genutzt wird und daß aus den gemessenen und gespeicherten Wellenfrontdeformationen der drei Messungen die asphärischen Abweichungen des Prüflings von seiner mathematischen Form berechnet werden, wobei Dejustageterme durch mathematische Modellierung und die Methode der kleinsten Quadrate eliminiert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die sphärische Hilfswelle zusammen mit einer absolut geprüften sphärischen Referenzfläche zur Eichung der Restfehler des diffraktiven Elements herangezogen wird und die asphärische Prüflingsoberfläche nunmehr nur noch in einer Position vermessen werden muß, wobei die sphärischen Eichwerte bei der Verrechnung geeignet berücksichtigt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1-3, dadurch gekennzeichnet, daß das diffraktive optische Element leicht zur Achse geneigt in den Interferometerstrahlengang eingebracht wird und daß diese zusätzliche Neigung bereits beim Design des Elements berücksichtigt wird und daß im für den eigentlichen Test nicht benötigten Randbereich des Elements diffraktive Hilfsstrukturen in Reflexion angebracht werden, die die Justage des Elements zum restlichen Interferometer und insbesondere zum Kollimator und Referenzarm des Interferometers mit hoher Genauigkeit ermöglichen.

5. Verfahren nach Anspruch 1-4, dadurch gekennzeichnet, daß wahlweise Twyman-Green oder Fizeau-Interferometer zur Asphärenprüfung eingesetzt werden und daß die Wellenfrontmessung mit der phase-shift-Technik oder verwandten Methoden erfolgt.

5

6. Verfahren nach Anspruch 1-5, dadurch gekennzeichnet, daß zur Selektion der sphärischen oder asphärischen Wellenfronten spatiale Filterung in der Brennebene des Kollimators eingesetzt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 1-6, dadurch gekennzeichnet, daß Kodierung und Balance im DOE so gewählt werden, daß die Eichung mit der sphärischen Hilfswelle mit ausreichender Genauigkeit bei Verwendung eines hochreflektierenden Planspiegels für die cat's eye Position erfolgen kann und daß z. B. polarisa-

15

tionsoptische Maßnahmen zur Intensitätsbalance in einem Twyman-Green Interferometer eingesetzt werden.

8. Verfahren nach Anspruch 1-7, dadurch gekennzeichnet, daß statt eines Interferometers ein Shack-Hartmann Sensor eingesetzt wird und die nötigen Modifikationen bei der Berechnung der Absolutwerte aus den gemessenen Wellenfrontdeformationen vorgenommen werden.

20

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

]

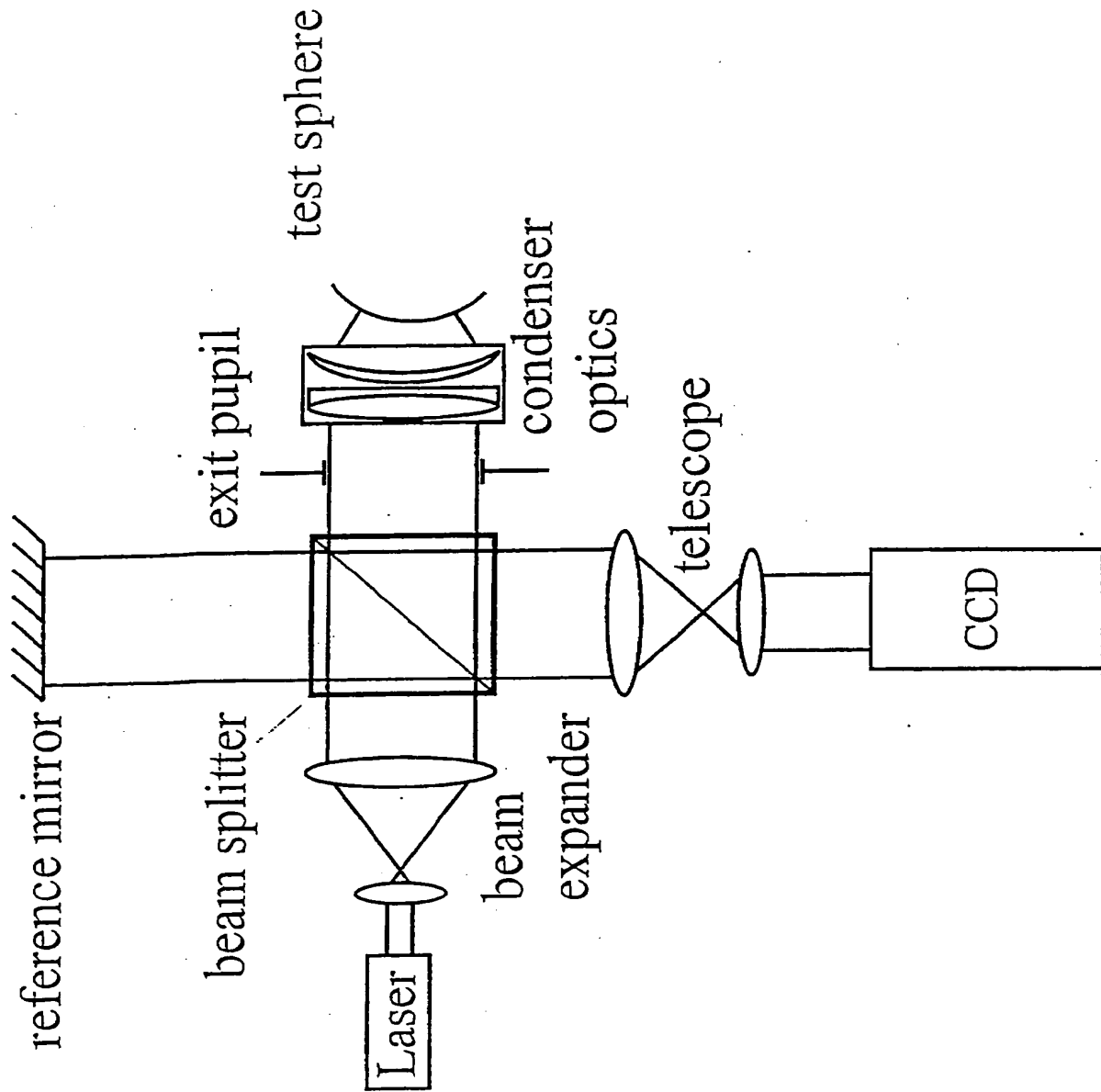


Fig. 1a

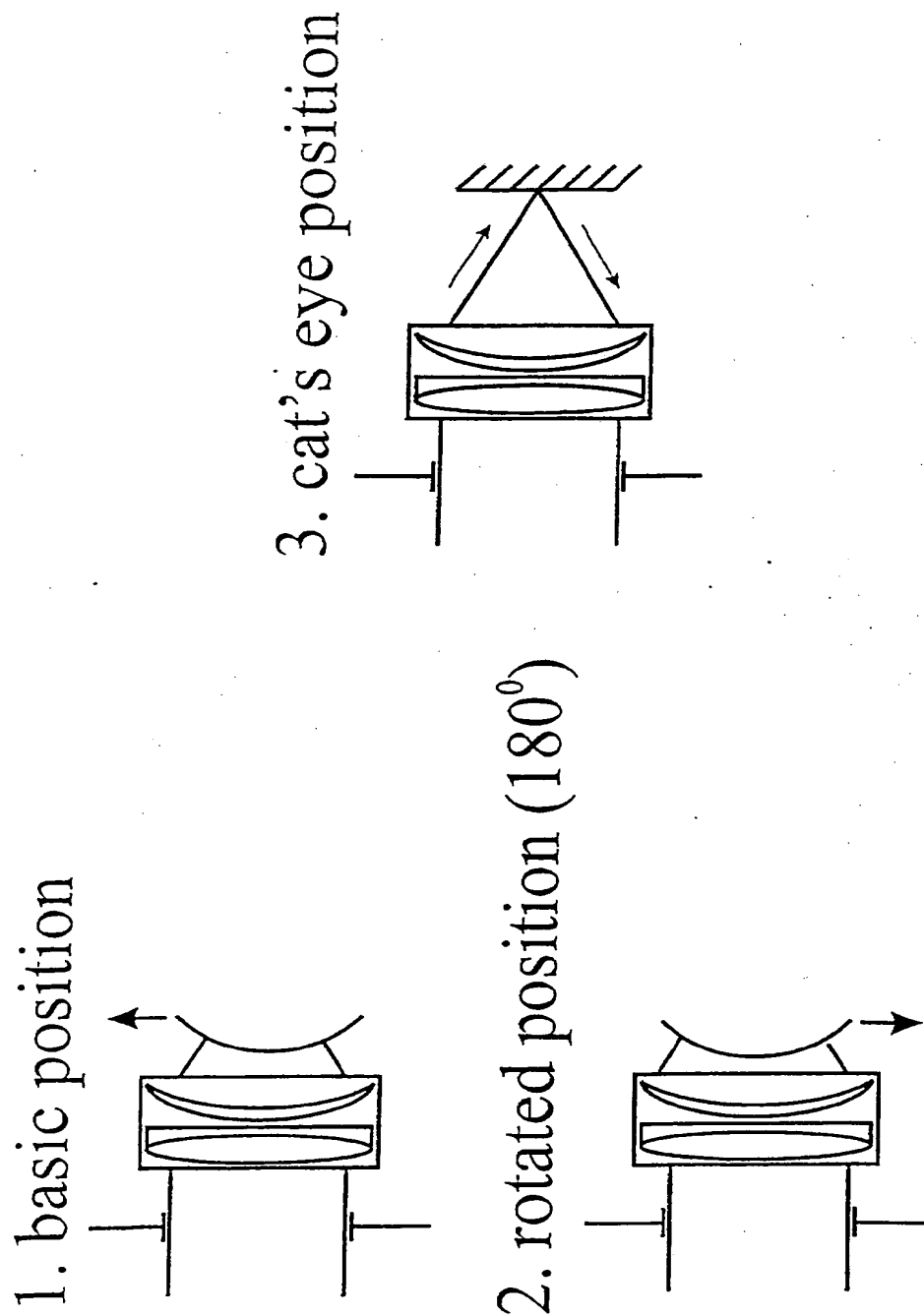


Fig. 1b

BEST AVAILABLE COPY



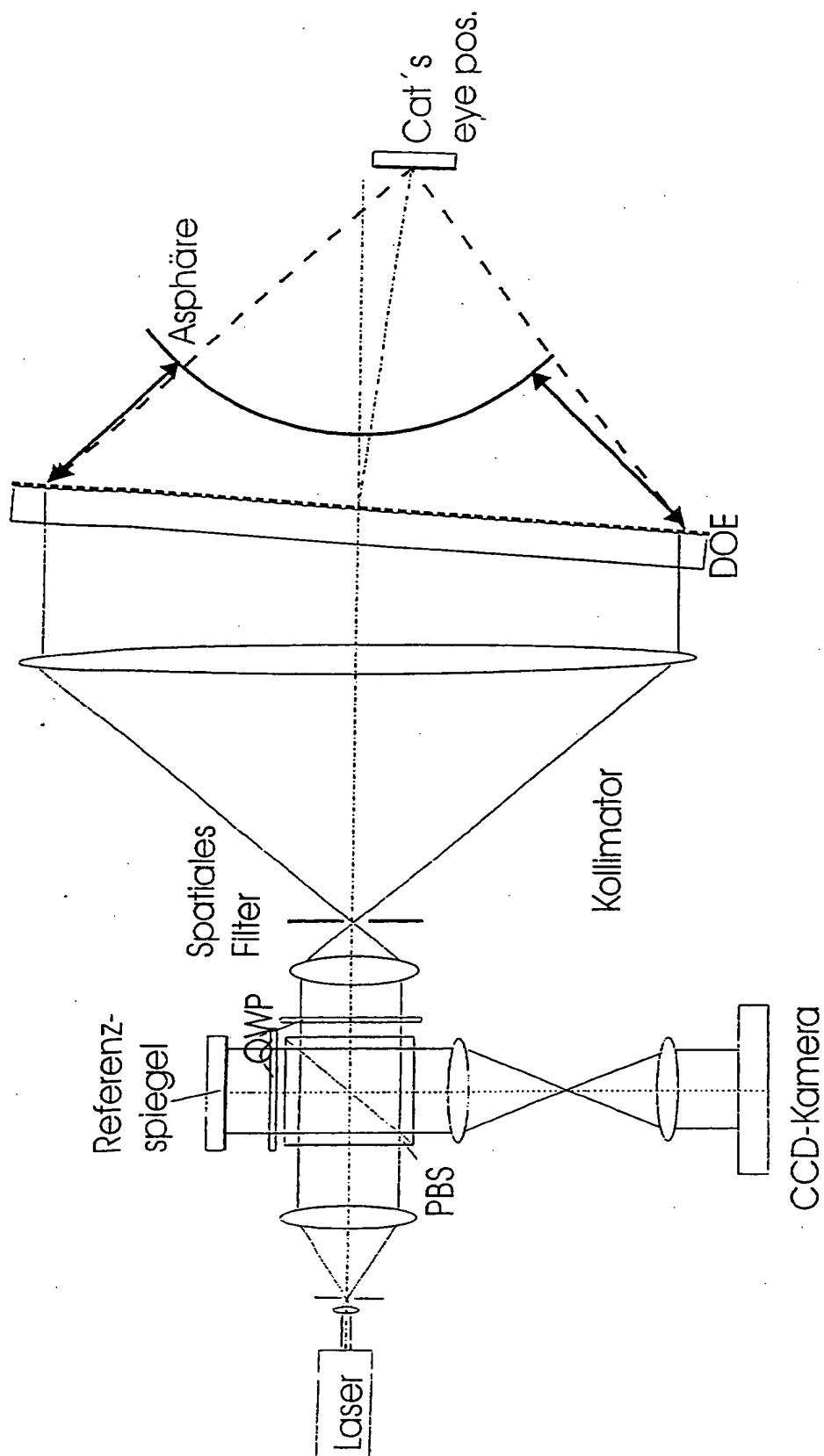


Fig. 2

BEST AVAILABLE COPY

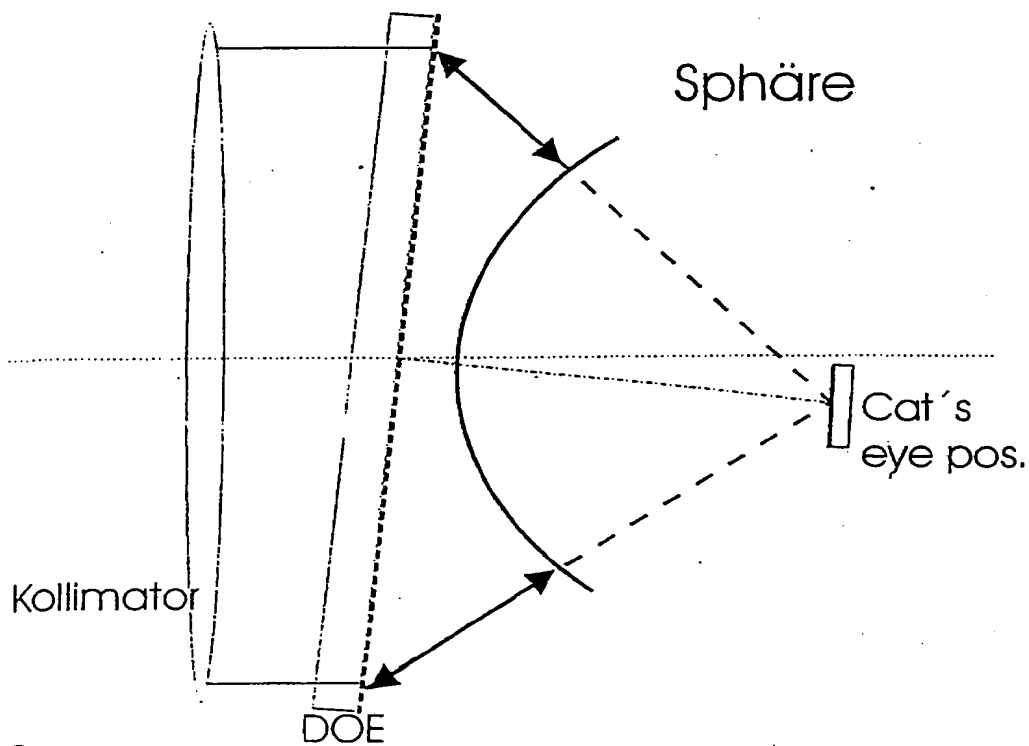
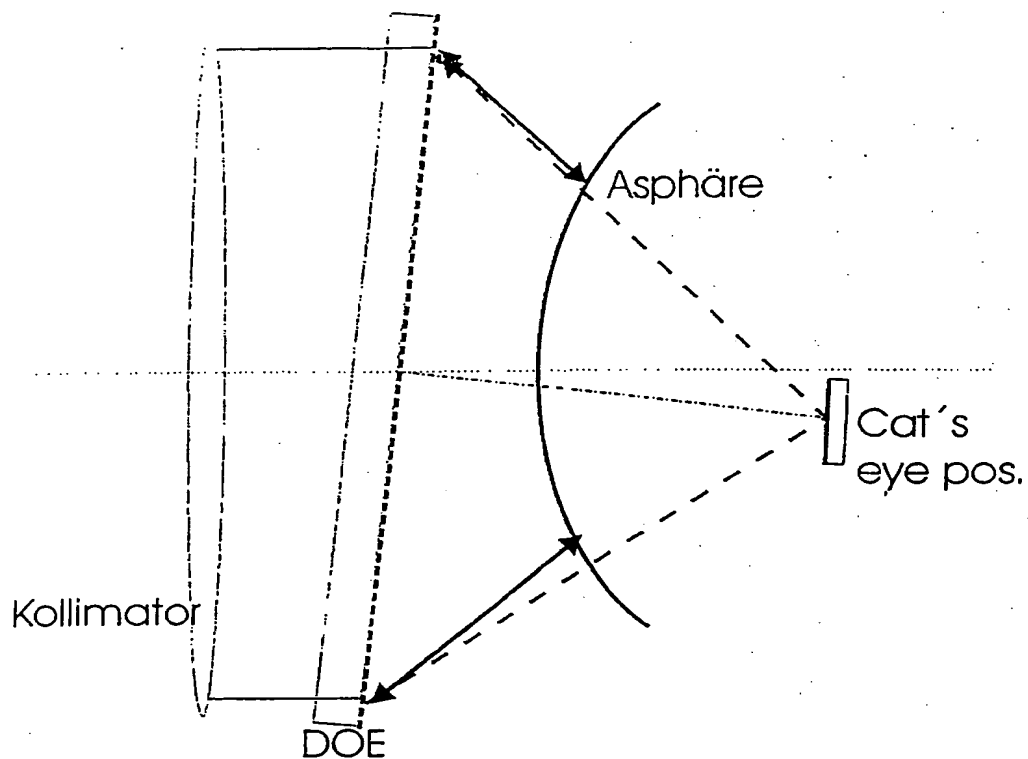


Fig.3

BEST AVAILABLE COPY